

九州大学 工学部 正会員 笠口英昭

同 〇 学生員 柴田忠之

同 正会員 上田年比古

1. 序 急速ろ過においては、一般に単層ろ過法より複層ろ過法の方がろ過効率が向上するといわれているが、逆流によるろ層の洗浄では、複層は同じ逆流速度に対するアンスラサイト層と砂層の膨張率が異なる点および逆流に伴う上下層ろ材の混合など問題点が多い。ろ材の混合はろ過効率を低下させるものと考えられ、これを避けなければならないと考える。従来は実験によってろ材の混合は単粒子沈降速度の比すなわち粒径比によってほぼ決まり、粒径比2.2以上で混合が生ずることを示している。しかしろ材の混合機構には未だ不明確な点が多いので本報では粒径の異なる3種の砂ろ材を用い逆流速度を大きく変化させて混合形態を検討した。

2. 実験 ろ過筒は幅10cm、奥行5cm、高さ1mのアクリル製直六面体で、底部に約10cmの高さに均一な粒径18mmの鉛粒子をつめてフィルターとし、下層に砂を、上層にアンスラサイトを充填して逆流を行なった。実験は表-1に示すようにアンスラサイト層(以後上層とよぶ)の粒径を一定にして、砂層(以後下層とよぶ)の粒径を3種にかえて上下層の単粒子沈降速度の比を1~2にかえた層について逆流速度を種々にかえて行なった。表中の(10)欄はろ層の境界付近の上下層の粒子の粒径比を示したもので、ろ材に粒度分布があるため境界付近では上層の粒子の大きいものと下層の粒子の小さいものとが集まっていると考えて、(3)欄のふるいわけの上限値と(6)欄のふるいわけの下限値との比をかけたものである。なお実験は恒温室で行ない、温度はほぼ15℃であった。以下に各実験の混合状態をのべる。

表-1 実験に用いたろ層

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
ろ層	上層厚 (cm)	上層粒径 (平均値)(mm)	U _{ts} (cm/sec)	下層厚 (cm)	下層粒径 (平均値)(mm)	U _{ts} (cm/sec)	U _{ts} / U _{ts}	平均粒径比 (3)/(6)	境界部 粒径比
①	9.5	1.190~1.680 (1.44)	6.49 [8.80]	27.0	0.420~0.590 (0.51)	6.24 [7.43]	1.04	2.84	4.00
②	10.7	同上	同上	16.7	0.297~0.420 (0.36)	4.54 [5.25]	1.43	4.00	5.66
③	5.0	同上	同上	19.2	0.210~0.297 (0.25)	3.14 [3.64]	2.07	5.65	8.00

(4),(7)欄はそれぞれ上層、下層粒子の終末沈降速度の実験値で、[]内は allan 公式で求めた値)
がほぼ1.0程度以下では混合は生じないとみてよい。

実験2. 表-1のろ層②について行なったもので、(i)流速 $U=0.37$ cm/sec では下層の膨張率33.5%で、上層の膨張は生じないが、この場合境界部の混合は生じない。(ii)流速 $U=0.51$ cm/sec では下層は膨張し上層は不完全な膨張で、流動化はしないが層内に channeling を生じる(下層膨張率40%, 上層膨張率11%)。この channeling により拡大された上層の空けき内を上昇する流速は砂の単粒子沈降速度よりかなり速いようで、砂粒子はこの空けき内を埋めるように侵入してゆき、時間がたつと必ず上層の全域にわたって侵入する。次にさらに大きい流速に対しては上層も徐々に流動化をはじめ砂の侵入量も増加する。すなわち単粒子沈降速度比が1.4程度の大きになると、ある程度以上の逆流速度により下層粒子が上層に侵入する形態で混合が生じる。

実験3. 表-1のろ層③について行なったもので、(i)流速 $U=0.35$ cm/sec では下層の膨張率36.1%で、前述と同様写真-1のように上層は流動化はしないが channeling を生じ、そこを砂粒子が上昇し、やがて上層全域にわたって侵入する。(ii)流速 $U=0.47$ cm/sec のとき上層も流動化をはじめ(下層膨張率60%, 上層膨張率60%)、上層は砂とアンスラサイトの混合層になる。この場合下層より上層の流動化が進めるため、逆流開始の初期に未だ流動化していない上層の空けき内の channel にまず砂粒子が侵入し、これがこの後の上層の流動化により完全に混合されてゆく現象がみられる。次に(iii)流速 $U=0.61$ cm/sec では全層の膨張率は90%で、このときの砂の空けき率 ε は U と ε の実験

曲線から求めると $\varepsilon=75\%$ 程度となる。このとき写真-2のように、アンスラサイト粒子が下層を降下するようになり、境界は完全に不明になりやがて砂層の下にアンスラサイトが集まってくる特異な現象を示す。

実験4. 上述のように下層の膨張が極端に大きくなるとアンスラサイト粒子が下層内を降下するのは、空げき率 ε の膨張した下層の水と砂の混合体の平均密度(下層のみかけ密度) ρ_s' は

$$\rho_s' = \varepsilon \rho_w + (1 - \varepsilon) \rho_s \quad (\text{ここに } \rho_w, \rho_s \text{ は水および砂の密度とする}) \quad \text{----- (1)}$$

となり、これがアンスラサイト粒子の密度 ρ_a より小さくなったためではないかと考え、次の実験を行いこのことを確認した。すなわち平均粒径 0.63mm 、比重 2.50 のガラス粒子をろ材としたろ層で逆洗速度をかえて、そのろ層内に直径 3.7cm のピンポン球で、その中に砂などを適量入れて球の比重をアンスラサイトろ材の比重と同一の 1.427 にしたもの(抵抗係数 $G=0.4$ とすれば終末沈降速度 72cm/sec)を投入してその動きを観察した。その結果ピンポン球は膨張率が 77.7% (空げき率 69%)以下ではろ層表面に浮遊して沈降しないが、 77.7% 以上では写真-3のようにろ層内を沈降する。この膨張率 77.7% のとき(1)式のろ層内のみかけ密度を算定すると、ピンポン球の密度とほぼ一致する。したがって以上のことから $U_{ta}/U_{ts} > 1.0$ のときでも下層のみかけ密度が上層粒子の密度より大きいとき、上層粒子は下層に入らないと考えられる。

3. 考察 以上の実験により、ろ材の単粒子沈降速度の比およびろ層内のみかけ密度によりろ層内の混合形態を次の3つの場合に分類した。なお本実験では砂粒子密度 $\rho_s=2.640$ 、アンスラサイト粒子密度 $\rho_a=1.427$ であるので(1)式の $\rho_s'=\rho_a$ のときの空げき率は $\varepsilon_c=0.745$ 、膨張率は約 110% になる。

④ $U_{ta}/U_{ts} \leq 1$ のとき膨張率を増加させても混合は生じない。

⑤ $U_{ta}/U_{ts} > 1$ で $\varepsilon < 0.745$ のとき上層で混合が生じる。すなわちアンスラサイト粒子は下層内に沈降しないが、砂粒子は上層内に侵入し、時間がたつと上層全域にわたり侵入する。その量は逆洗速度および U_{ta}/U_{ts} が大きくなると多くなるようである。

⑥ $U_{ta}/U_{ts} > 1$ で $\varepsilon > 0.745$ のとき全層にわたり混合する。すなわちアンスラサイト粒子は下層内を沈降する。

上記の④は表-1のろ層①に相当するもので、平均粒径比は 2.8 であるが、(10)欄のように境界部における粒径比は 4.0 程度になっていると考えられるので、実用上では粒径比 4.0 位までは上下層間の混合は生じないとみてよいのではないかと考えられる。なお前述のように境界部の粒子の挙動を考えると境界部の粒径比が重要な要素と考えられ、上下層の平均粒径の粒径比のみならず粒度分布も境界部の混合に重要であると考えられる。

4. 必ず 幅広い逆洗速度と単粒子沈降速度の比について実験して、砂、アンスラサイトの2層の混合形態について、その概略を知りえた。なお逆洗の最近膨張率はほぼ 30% といわれていることから実際の複層ろ過池では、逆洗は上層下層ともほぼ 30% 程度で行なわれるものと考えられ、ここでとり扱った空げき率 $\varepsilon > 0.745$ (膨張率 110% 以上)の場合は実際上はないであろう。また上層が完全に流動化していない状態での混合も実際のろ過池ではないものと考えられる。したがって今後は本報でとり扱った混合のうちほぼ上下層の膨張がそれぞれ 30% 程度で、単粒子沈降速度の比が $1.0 \sim 2.0$ 程度のものについて検討を進めたいと考えている。

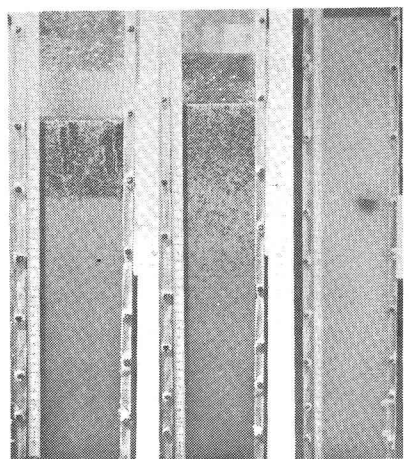


写真-1

写真-2

写真-3

文献 1) 篠原 紀: “逆洗ろ過のろ過機構と複層ろ過池に関する基礎的研究” 九州大学学位請求論文, 昭和49年(1974)